

AZ

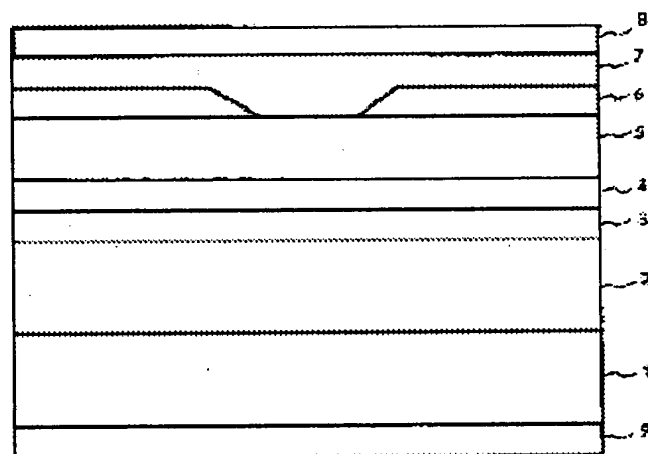
10/829,306

SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

Publication number: JP6097572
Publication date: 1994-04-08
Inventor: TANAKA TOSHIAKI; YANO SHINICHIRO
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- International: **H01S5/00; H01S5/042; H01S5/00;** (IPC1-7): H01S3/18
- European:
Application number: JP19920244499 19920914
Priority number(s): JP19920244499 19920914

Report a data error here**Abstract of JP6097572**

PURPOSE: To make the reduction in a threshold value, continuous oscillation at room temperature and high temperature actuation feasible by a method wherein a ZnSSe strain waveguide layer is provided as a barrier layer adjacent to a CdZnSe strain active layer. **CONSTITUTION:** A Cl doped n-type ZnSe optical waveguide layer 2, a Cl doped n-type ZnS_{1-x}Se_x strain barrier waveguide layer 3, an undoped Cd_xZn_{1-x}Se strain active layer 4, an N doped p-type ZnSe optical waveguide layer 5, a Cl doped n-type ZnSe current constitution layer 6 are successively epitaxially deposited by molecular beam epitaxy (MBE) on a (100) plane n-type ZnSe substrate 1. Later, a striped mesa from the layer 6 to the layer 5 is formed by photolithography and chemical etching step. Next, photoresist is removed to buried-deposit an N-doped p-type ZnSe contact layer 7 by MBE. Finally, p side electrode AuZn and n side electrode In are evaporated and scribed by cleavage to cut out an element shape.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

A2

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-97572

(43)公開日 平成6年(1994)4月8日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

H01S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数10(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平4-244499

(22)出願日 平成4年(1992)9月14日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 矢野 振一郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

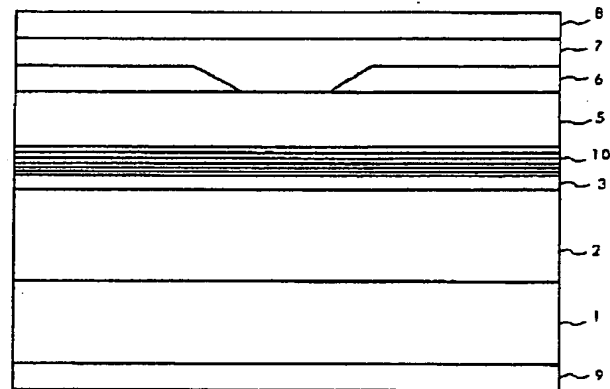
(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57)【要約】 (修正有)

【目的】II-VI族半導体レーザの特性、特に閾値電流の低減、室温連続発振及び高温動作を図って改善する。

【構成】(100)面n型ZnSe基板1の上にClドープn型ZnSe光導波層2、Clドープn型ZnS₂Se_{1-z}歪導波層3、アンドープCd_xZn_{1-x}Se/ZnS₂Se_{1-z}多重量子構造活性層10(アンドープCd_xZn_{1-x}Se量子井戸層4層及びZnS₂Se_{1-z}量子障壁層4層)、Nドープp型ZnSe光導波層5、Clドープn型ZnSe電流狭窄層6を順次分子線エピタキシー(MBE)法によりエピタキシャル成長させ、ホトリソグラフィ技術とエッチングにより、層6から層5に到るストライプ状メサを形成する。ホトレジストを除去して、MBE法によりNドープp型ZnSeコンタクト層7を埋込成長させ、p側電極AuZn及びn側電極Inを蒸着し、劈開スクライプして素子を作製する。

図 3



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板上に、有機金属気相成長(MOCVD)法又は分子線エピタキシー(MBE)法により成長された禁制帯幅の大きな光導波層と禁制帯幅の小さい発光活性層からなるダブルヘテロ接合構造において、該発光活性層を $Cd_xZn_{1-x}Se$ ($0 < x < 1$) 圧縮歪層及び該光導波層を $Cd_yZn_{1-y}Se$ ($0 \leq y < x < 1$) 層とし、該発光活性層よりも禁制帯幅の大きい ZnS_zSe_{1-z} ($0 < z < 1$) 歪導波層を該発光活性層の少なくとも片側に隣接して設けることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】請求項1記載の半導体レーザ素子において、該発光活性層に隣接して設ける ZnS_zSe_{1-z} 歪導波層を臨界膜厚以内の膜厚で導入し、少なくともn型 $Cd_yZn_{1-y}Se$ 光導波層側或いはその両側に設定することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】請求項1又は2記載の半導体レーザ素子において、該発光活性層構造を多重量子井戸構造とし、量子井戸層を $Cd_{x1}Zn_{1-x1}Se$ ($0 < x_1 < 1$) 圧縮歪層及び量子障壁層を $ZnS_{z1}Se_{1-z1}$ ($0 < z_1 < 1$) 引張歪層に設定し、

$Cd_{x1}Zn_{1-x1}Se$ 量子井戸層の圧縮歪量を $+\varepsilon$ 、 $ZnS_{z1}Se_{1-z1}$ 量子障壁層の引張歪量を $-\varepsilon$ としたとき、両者の絶対歪量は ε で同じように導入し隣接する両者の歪量を互いに補償するように設計されたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項4】請求項1、2又は3記載の半導体レーザ素子において、該 $Cd_{x1}Zn_{1-x1}Se$ ($0 < x_1 < 1$) 量子井戸層及び $ZnS_{z1}Se_{1-z1}$ ($0 < z_1 < 1$) 量子障壁層の膜厚は臨界膜厚以内とし、 $Cd_{x1}Zn_{1-x1}Se$ 量子井戸層の膜厚は1~20nmの範囲、 $ZnS_{z1}Se_{1-z1}$ 量子障壁層の膜厚は2~10nmの範囲とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】請求項1、2、3又は4記載の半導体レーザ素子において、該発光活性層に隣接して設ける ZnS_zSe_{1-z} 歪導波層のS組成 z を上記 $ZnS_{z1}Se_{1-z1}$ 量子障壁層のS組成 z_1 よりも大きくし $0 < z_1 < z < 1$ とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項6】請求項1、2、3、4又は5項記載の半導体レーザ素子において、上記半導体基板を $ZnSe$ 半導体基板とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項7】請求項1、2、3、4又は5項記載の半導体レーザ素子において、上記半導体基板を $ZnSe$ 層と格子整合する $Ga_{0.96}In_{0.04}As$ 半導体基板としてその上に $ZnSe$ 層と格子整合する $Ga_{\alpha}In_{1-\alpha}P$ ($0.47 < \alpha < 0.49$) 層及び $(Al_{\beta}Ga_{1-\beta})_{\alpha}In_{1-\alpha}P$ ($0.47 < \alpha < 0.49$, $0 < \beta < 1$) 層を設けたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項8】請求項1、2、3、4又は5項記載の半導体レーザ素子において、上記半導体基板が $GaAs$ 半導

2

体基板とその上に $GaAs$ 層に格子整合する $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ 層と $ZnSe$ 層と格子整合する $Ga_{\alpha}In_{1-\alpha}P$ ($0.47 < \alpha < 0.49$) 層からなる歪超格子層を設けかつ $(Al_{\beta}Ga_{1-\beta})_{\alpha}In_{1-\alpha}P$ ($0.47 < \alpha < 0.49$, $0 < \beta < 1$) 層を設けたことにより形成されることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項9】請求項1、2、3、4、5、6、7又は8項記載の半導体レーザ素子において、上記半導体基板に関して導電型がp型であるときキャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上であり、或はn型であるときにはキャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上であるように設定されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項10】請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9記載の半導体レーザ素子において、該 $Cd_yZn_{1-y}Se$ 光導波層に対してp型不純物には NH_3 やラジカル N_2 を原料としてNをドーブすること、n型不純物にはハロゲン化合物を原料としてハロゲン(Cl, Br及びI)をドーブすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光情報端末或は光応用計測用の光源に適する短波長可視半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の技術では、低温77Kにおける青緑色の $ZnSSe/CdZnSe$ 系半導体レーザのパルス動作が実現されていることが例えばアプライド・フィジクス・レターズ1991年、59巻、1272頁(Appl. phys. Lett., 59(1991)1272)において述べられている。しかしながら、室温直流動作下における連続発振が得られていない。これは、コンタクト層のオーミック性がまだ不十分でありp型光導波層のキャリア濃度が低いため電流-電圧特性における閾電圧が10V以上と高くかつ微分抵抗が高くなること、さらにキャリア閉じ込めに対する十分な活性層構造の検討がなされていないため閾値電流が高いことによる熱の発生に起因している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では、コンタクト層やp型光導波層の適切なキャリア濃度についてはまだ十分検討されておらず、またキャリア閉じ込めを十分に設定できる多重量子井戸構造活性層及び歪導入の仕方や歪量の詳細が述べられていない。

【0004】本発明の目的は、II-VI族半導体レーザの特性、特に閾値電流の低減、室温連続発振及び高温動作を図って改善することにある。本発明では、まずコンタクト層及びp型光導波層の適切なキャリア濃度を実現できるようにそれぞれの層に用いる材料を選定する。また $CdZnSe/ZnSe$ 系では正孔に対して十分なキャリア閉じ込めが困難になるため、伝導帯に対してはほと

んどバンド不連続を生じず価電子帯に対して障壁層となりうるZnSSe層を活性層の少なくとも片側に設けることにより、活性層からの正孔のオーバフローを抑制する。さらに活性層をCdZnSe量子井戸層及びZnSSe量子障壁層からなる多重量子井戸構造として量子井戸層及び量子障壁層における歪の導入方法及び歪量について規定する。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0006】II-VI族半導体レーザの構成要素として重要な低抵抗のp型層にZnSe層を用いることを前提とする。ZnSe層を光導波層としてダブルヘテロ接合構造を実現するには、ZnSe層に格子整合する半導体基板が重要となる。そこで、まずZnSe層と格子整合するように基板として用いる半導体の種類を選択する。次に、活性層はZnSe光導波層に対して歪系となるCdZnSe三元混晶を用いる。CdZnSe層はZnSe層よりバンドギャップエネルギーが小さく屈折率が大きいため、比較的良好なキャリア及び光学的閉じ込めを有するダブルヘテロ接合構造をとる。しかしながら、CdZnSe層はZnSe層に対して伝導帯ではバンドオフセット比が大きく電子の閉じ込めが十分とれるが、価電子帯ではそれが非常に小さくなるため正孔の閉じ込めが不十分となる。本発明では、この正孔閉じ込めを十分に行うため、CdZnSe歪活性層に隣接してZnSSe歪導波層を障壁層として設ける。また、活性層を多重量子井戸構造とすると、CdZnSe層を量子井戸層としZnSSe層を量子障壁層として用いるとする。

【0007】

【作用】目的を達成するため、上記手段について説明する。

【0008】II-VI族半導体材料では、従来よりp型導電層が高いキャリア濃度で実現出来ないという問題がある。本発明では、そのうちでも $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上にキャリア濃度を設定できるZnSe層を光導波層に用いることを前提とする。しかし、ZnSe層は通常よく用いられるGaAs半導体基板とは格子整合せず約0.27%の格子不整となるため、そのままでは使用出来ない。そこで、本発明ではZnSe半導体基板又はGa_{0.96}In_{0.04}As半導体基板を用いてZnSe層に格子整合するようにするか、GaAs基板から出発してGa_αIn_{1-α}P ($0.47 < \alpha < 0.49$)歪超格子層をバッファ層に利用しZnSe層に格子整合するように設定する。これにより、低抵抗のp型光導波層にZnSe層を格子整合系として導入し、さらに高濃度に不純物をドーピングすることによりコンタクト層としても用いることができる。

【0009】活性層は、ZnSe光導波層に対して伝導帯バンドオフセット比を非常に大きくとれるCdZnSe歪系三元混晶とする。これにより、電子に対してはオ

ーバフローを十分抑制した活性層と光導波層のバンド不連続がとれる。一方、正孔に対しては価電子帯バンドオフセット比が小さくなるため、活性層からのオーバフローを十分抑制できなくなる。そこで、ZnSe光導波層の伝導帯に対してはほとんどバンド不連続をつくらず価電子帯に対して障壁層となるZnSSe歪導波層をCdZnSe歪活性層に隣接して設けて、正孔のオーバフローを抑制する。このとき、ZnSSe歪導波層は正孔オーバフローの障壁となるように少なくともCdZnSe歪活性層に隣接してn型ZnSe光導波層側に設ける。また、ZnSSe層はCdZnSe層と多重量子井戸構造を形成させたとき、圧縮歪系のCdZnSe量子井戸層と引張歪系のZnSSe量子障壁層を交互に繰り返すことにより、臨界膜厚以内に制御できる両層の歪量を拡大させることを可能とする。これにより、ダブルヘテロ構造の場合に比べて、量子井戸層における正孔状態密度の増大やキャリア閉じ込めの向上等の歪導入の効果を大きく利用することができる。

【0010】

20 【実施例】実施例1

本発明の一実施例を図1及び図2により説明する。まず、(100)面n型ZnSe基板1を用いて、その上にC1ドーブn型ZnSe光導波層2 ($d = 1.0 \mu\text{m}$, $n_0 = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、C1ドーブn型ZnS_zSe_{1-z}歪障壁導波層3 ($d = 0.05 \mu\text{m}$, $n_0 = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, $z = 0.2$)、アンドーブCd_xZn_{1-x}Se歪活性層4 ($d = 0.03 \mu\text{m}$, $X = 0.1$)、Nドーブp型ZnSe光導波層5 ($d = 1.0 \mu\text{m}$, $n_A = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、C1ドーブn型ZnSe電流狭窄層6 ($d = 1.0 \mu\text{m}$, $n_0 = 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)を順次分子線エピタキシー(MBE)法によりエピタキシャル成長する。その後、ホトリソグラフィ技術とケミカルエッチングにより、層6から層5に到るストライプ状メサ(幅7 μm)を形成する。次に、ホトレジストを除去して、MBE法によりNドーブp型ZnSeコンタクト層7 ($d = 1.0 \mu\text{m}$, $n_A = 1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)を埋込成長する。この後、p側電極AuZn及びn側電極Inを蒸着し、劈開スクライプして図1の断面図に示す素子の形状に切り出す。

40 【0011】本実施例において、まず電流-電圧特性を改善できた。ダイオード特性における電流の流れ出す閾電圧を2.5~3.0Vに低減でき、微分抵抗を10 Ω 以下にできた。これは、従来の1/3に低減できたことを示す。さらに、図2に示すようにZnS_zSe_{1-z}歪障壁層3を設けることによって、正孔に対してオーバフローを抑制し閉じ込めを改善することにより再結合発光の効率を向上させた。その結果、温度に依存した閾キャリア密度が低減され、共振器長500 μm の素子において閾値電流が140~150mAで室温において直流動作した。光出力3mW時において発振波長が530~540

nmの緑色レーザ光を得た。光出力は最大10mWまで得られた。

【0012】実施例2

本発明の他実施例を図3及び図4により説明する。まず、(100)面n型ZnSe基板1を用いて、その上にClドープn型ZnSe光導波層2 ($d=1.0\mu\text{m}$, $n_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), Clドープn型ZnS₂Se_{1-z}歪導波層3 ($d=0.05\mu\text{m}$, $n_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $z=0.2$), アンドープCd_xZn_{1-x}Se/ZnS₂Se_{1-z}多重量子構造活性層10 (アンドープCd_xZn_{1-x}Se量子井戸層($d=5\text{nm}$, $X=0.1$)4層及びZnS₂Se_{1-z}量子障壁層($d=10\text{nm}$, $z=0.1$)4層), Nドープp型ZnSe光導波層5 ($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), Clドープn型ZnSe電流狭窄層6 ($d=1.0\mu\text{m}$, $n_0=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を順次分子線エビタキシ(MBE)法によりエビタキシャル成長する。その後は実施例1と全く同様に素子を作製する。

【0013】本実施例では、実施例1と同様に電流-電圧特性を改善でき、閾電圧2.5~3.0V及び微分抵抗10Ω以下を得た。さらに、図4に示すように電子及び正孔はともに量子井戸層内に形成される量子準位に高い状態密度で閉じ込められることになる。特に、正孔は価電子帯においてZnSe光導波層よりも高いバリアを形成するZnS₂Se_{1-z}量子障壁層によって閉じ込められ、かつn型ZnSe光導波層へのオーバーフローはZnS₂Se_{1-z}歪障壁層3によって抑制されるため、多重量子井戸構造活性層内に有効に閉じ込められる。この結果、閾キャリア密度はさらに低減でき、共振器長500μmの素子において閾値電流が90~100mAで室温において直流動作した。発振波長は量子サイズ効果により短波長化し、光出力5mW時において発振波長510~520nmの緑色レーザ光を得た。光出力は最大20mWまで得られた。

【0014】実施例3

本発明の他実施例を図5により説明する。まず、ZnSe層と格子整合する(100)面p型Ga_{0.96}In_{0.04}As($n_A=1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)基板11を用いて、その上にZnSe層と格子整合するZnドープp型Ga_αIn_{1-α}P($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<\alpha<0.49$)層12及びZnドープp型(A_{1β}Ga_{1-β})_αIn_{1-α}P($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<\alpha<0.49$, $\beta=0.5$)層13を順次有機金属気相成長(MOCVD)法によりエビタキシャル成長する。この後、SiO₂膜($d=0.2\mu\text{m}$)を形成し、ホトリソグラフィ技術とケミカルエッチングにより幅7μmのストライプ状SiO₂マスクを作製する。次に、ケミカルエッチングにより層13を層12に到るまで除去し、次いでSiドープn型Ga_αIn_{1-α}P($d=1.0\mu\text{m}$, $n_0=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<$

$\alpha<0.49$)電流狭窄層14を選択成長する。

【0015】SiO₂マスクを除去した後、MBE法によりNドープp型ZnSe光導波層5 ($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), アンドープCd_xZn_{1-x}Se/ZnS₂Se_{1-z}多重量子構造活性層10 (アンドープCd_xZn_{1-x}Se量子井戸層($d=5\text{nm}$, $X=0.1$)4層及びZnS₂Se_{1-z}量子障壁層($d=10\text{nm}$, $z=0.1$)4層), Clドープn型ZnS₂Se_{1-z}歪導波層3 ($d=0.05\mu\text{m}$, $n_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $z=0.2$), Clドープn型ZnSe光導波層2 ($d=1.0\mu\text{m}$, $n_0=1\times 10^{18}\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を順次エビタキシャル成長する。その後は実施例1と同様にn側電極In及びp側電極AuZnを蒸着し、劈開スクライブして図5の断面図に示す素子の形状に切り出す。

【0016】本実施例では、オーミック性コンタクトを向上でき電流-電圧特性をさらに改善でき、閾電圧2.3~2.8V及び微分抵抗8Ω以下を得た。さらに、電子及び正孔の量子井戸層内における閉じ込めは実施例2に述べた通りであり、同様の効果が得られた。

【0017】実施例4

本発明の他実施例を図6により説明する。(100)面p型GaAs($n_A=1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)基板14を用いて、その上にZnドープp型Ga_{0.51}In_{0.49}P($d=2.0\mu\text{m}$, $n_A=5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)バッファ層15, Znドープp型Ga_{0.51}In_{0.49}P/Ga_αIn_{1-α}P($d=2\sim 5\text{nm}$, $n_A=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<\alpha<0.49$)歪超格子層16及びZnドープp型Ga_αIn_{1-α}P($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<\alpha<0.49$)層12, Znドープp型(A_{1β}Ga_{1-β})_αIn_{1-α}P($d=1.0\mu\text{m}$, $n_A=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $0.47<\alpha<0.49$, $\beta=0.5$)層13を順次有機金属気相成長(MOCVD)法によりエビタキシャル成長する。この後、実施例3と同様にn側電極In及びp側電極AuZnを蒸着し、劈開スクライブして図6の断面図に示す素子の形状に切り出す。

【0018】本実施例では、実施例3に述べたのと同様の効果が得られた。

【0019】

【発明の効果】本発明により、II-VI半導体レーザの素子構造において、まず大きなバンド不連続を生じることなくヘテロ接合が可能となり、かつオーミック性コンタクトを十分に引き出せる材料を電極とコンタクトさせているので、電流-電圧特性において閾電圧及び微分抵抗を従来より低減できた。本発明の実施例によれば、閾電圧2.3~2.8V及び微分抵抗8Ω以下を達成できた。さらに、電子及び正孔の両方のキャリアに対して十分障壁となる層を設け、特に正孔に対する活性層内の閉じ込め向上とオーバーフロー抑制を図ったので、温度に依存する閾キャリア密度を低減でき、室温における閾値電流密度

7

を下げ連続発振を可能とした。本実施例では、共振器長 $500\mu\text{m}$ の素子において閾値電流が $90\sim 100\text{mA}$ で室温において直流動作し、 $510\sim 520\text{nm}$ の発振波長を有する緑色レーザを得た。光出力は最大 20mW が達成された。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す素子構造断面図。

【図2】本発明の一実施例における活性層付近のバンド構造概略を示す図。

【図3】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

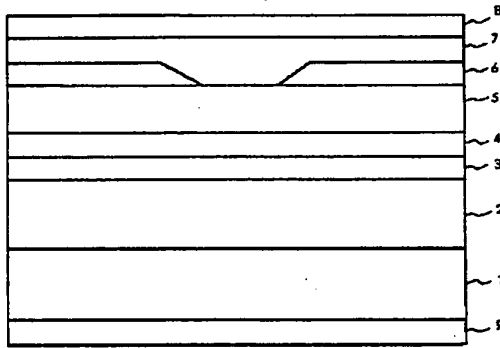
【図4】本発明の他実施例における多重量子井戸構造活性層付近のバンド構造概略を示す図。

【図5】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図6】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

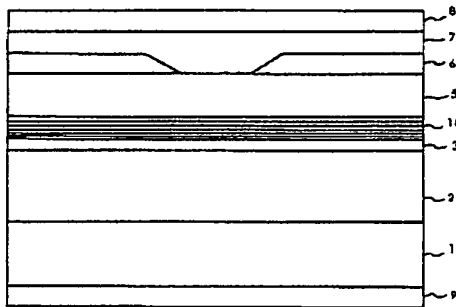
【図1】

図 1



【図3】

図 3



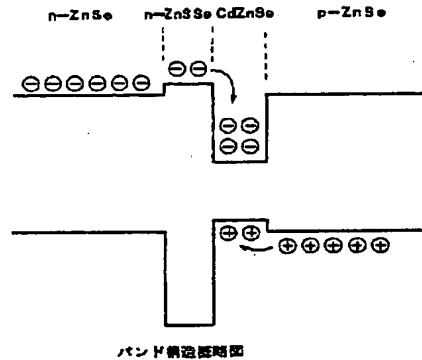
8

【符号の説明】

1…(100)面n型ZnSe基板、2…n型ZnSe光導波層、3…n型ZnS₂Se_{1-x}歪導波層、4…アンドープCd_xZn_{1-x}Se歪活性層、5…p型ZnSe導波層、6…n型ZnSe電流狭窄層、7…p型ZnSeコンタクト層、8…p側電極AuZn、9…n側電極In、10…アンドープCd_xZn_{1-x}Se/ZnS₂Se_{1-x}多重量子構造活性層、11…p型Ga_{0.96}In_{0.04}As基板、12…p型Ga_αIn_{1-α}P層、13…p型(Al_βGa_{1-β})_αIn_{1-α}P層、14…n型Ga_αIn_{1-α}P電流狭窄層、15…p型Ga_{0.51}In_{0.49}Pバッファ層、16…p型Ga_{0.51}In_{0.49}P/Ga_αIn_{1-α}P歪超格子層。

【図2】

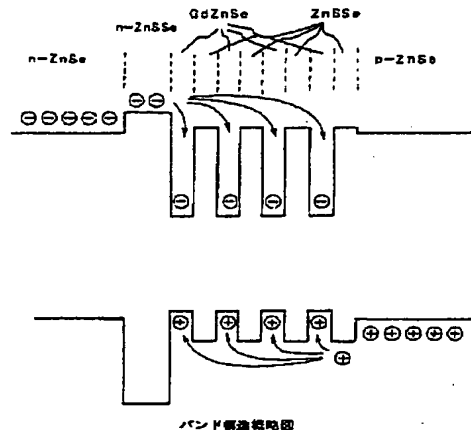
図 2



バンド構造概略図

【図4】

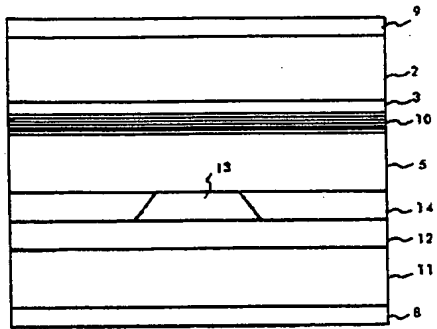
図 4



バンド構造概略図

【図 5】

図 5



【図 6】

図 6

